

太陽光発電電力／商用電力混合装置の改良と実証試験

Improvement and Experimental Evaluation of a Photovoltaic AC Fusion Converter

土屋 幸男

八戸工業高等専門学校

Yukio TSUCHIYA

Hachinohe National College of Technology

キーワード：太陽光発電(Photovoltaic System), 順変換器(Converter), 商用電力(AC Power),
太陽光発電電力／商用電力混合装置(Photovoltaic AC Fusion Converter),
省エネルギー(Energy Conservation)

連絡先：〒039-1192 八戸市田面木字上野平 16-1 八戸工業高等専門学校 電気工学科

土屋 幸男

E-mail:tsuchiya-e@hachinohe-ct.ac.jp

TEL/FAX: 0178-27-7280

1. はじめに

太陽光発電はクリーンで、無尽蔵であることより、エネルギー源として魅力的である。住宅を対象とする逆潮流許容型の太陽光発電システムは、省エネルギーに貢献する典型的な応用例といえる。しかし逆潮流許容システムに必要な太陽電池モジュールの多さと、配電系統電力の質を高度に保つためのパワーコンディショナー技術がコスト高をまねき、導入を抑制する要因となっている。

この問題を解決する 1 つの手段として、太陽光発電電力／商用電力混合装置 (PVAC) を開発した⁽¹⁾。PVAC は負荷に太陽光発電電力を優先的に供給することで商用電力の供給を抑制し、省エネルギーを実現する。さらに太陽電池の最大出力は定格負荷よりも少ないことを特徴とし

ている。従って余剰電力は原理的に発生せず、逆潮流は起こらない。このように、PVAC は順潮流を前提とするパワーコンディショナーであるから太陽電池モジュールの使用量は逆潮流許容型のシステムに比較しておおむね 1/3 以下で済む。さらに制御回路もきわめてシンプルであり、システムの低価格化が容易である。

本論文では、これまでに報告した PVAC の設計回路と変換効率の測定方法に若干の改良を加えその効果を確認したので、これについて報告する。

2. PVAC の特徴

パワーコンディショナーとしての PVAC の特徴は以下の 3 点である^{(1),(2)}：

①太陽光発電電力と商用電力を入力とするコンバータ ... 太陽電池の発電電力(P_{pv})を負荷

力(P_{LD})に優先的に供給し、 P_{PV} で不足する電力すなわち($P_{LD} - P_{PV}$)を商用電力 P_{AC} で賄う。また商用電力が停電のときは太陽光発電電力のみで自律的に運転を行う。このほか太陽電池の最大出力点追跡制御機能を有する。

②直流出力電圧 --- 出力電圧は商用交流電圧を整流しこれを平滑した直流電圧と直流インパルス電圧の合成波であり、基本的に直流。

③蓄電池不要のシステム --- PVACの小型化と保守管理の容易性を実現。

以上の3つの特徴は電源の電圧変動が若干許容できる電熱、送風および照明などの負荷で有効に機能する。さらに昼夜連続運転が前提であれば、PVACの損失を無視すれば太陽電池が発電する電力に相当する商用電力を抑制するので、省エネルギーの観点から効果的である。Fig.1.にPVACの基本回路を示す。

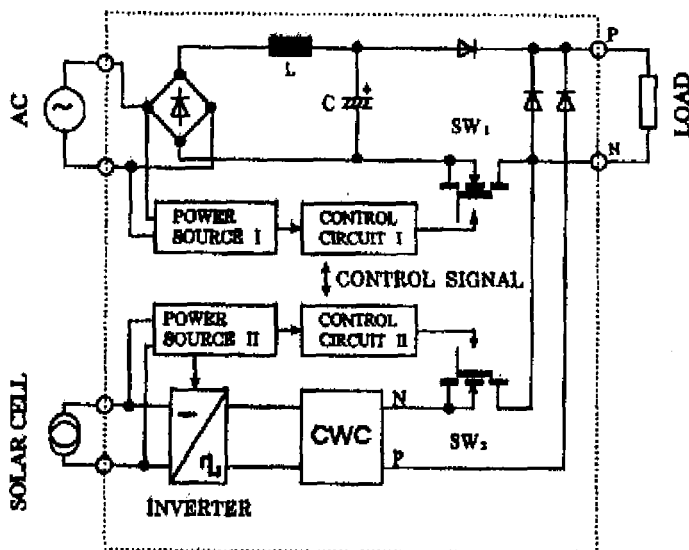


Fig.1. Circuit diagram of PVAC.

3. 変換効率と省エネルギー率

3.1 変換効率

PVACの変換効率 η を次式で与える。

$$\eta = \frac{\int^T P_{LD} dt}{\int^T P_{PV} dt + \int^T P_{AC} dt} \times 100 [\%] \quad (1)$$

ここで T はPVACの稼動時間である。式(1)の中の3つの積分項はFig.1.に示す3ヶ所の入出力端の電力量の計量値である。

3.2 省エネルギー率

PVACの入出力のエネルギー(電力量)のバランスを次式で与える。

$$\int^T P_{AC} dt + \int^T P_{PV} dt = \int^T P_{LD} dt + \int^T P_{LOSS} dt \quad (2)$$

ここで P_{LOSS} はPVACの損失である。本式を変形すると、商用電力の抑制分に相当するエネルギー、すなわち省エネルギー量 EEC が計算できる。

$$\begin{aligned} EEC &= \int^T P_{LD} dt - \int^T P_{AC} dt \\ &= \int^T P_{PV} dt - \int^T P_{LOSS} dt \end{aligned} \quad (3)$$

負荷電力量に対する省エネルギー量の割合を省エネルギー率($\%EEC$)と定義する。

$$\%EEC = \frac{EEC}{\int^T P_{LD} dt} [\%] \quad (4)$$

ここで $\%EEC$ は以下に記す4つの項目の影響を受ける。 $\%EEC$ が低下する要因をまとめる。

①負荷の需要電力

主回路の電流が増加すると導通損が増えるので P_{LOSS} が増え、 $\%EEC$ が低下する。

②PVACの稼動時間

T はあらかじめ設定した稼動時間であり、日射の強さに関係しない。夜間運転時間が増えると商用電力側回路の導通損が増え、 $\%EEC$ が低下する。

③太陽電池の出力

日射の少ない時は相対的に商用電力側回路の損失が増え、 $\%EEC$ が低下する。なお、変換効率 η の上限は商用電力側回路の損失で決定される。

④ 電源回路の損失.

電源 I/II の損失が増えると %EEC が低下する。損失の低減は重要な要因である。

4. 改良

4.1 Cockcroft-Walton 回路

Fig.1. の中で CWC で示す回路部分は Cockcroft-Walton 型直流高電圧発生回路 (CWC, Fig. 2) であり、太陽電池の出力を充電するために用いる。さらに後段の SW₂ のスイッチングを行い太陽電池の最大出力点を追跡する。

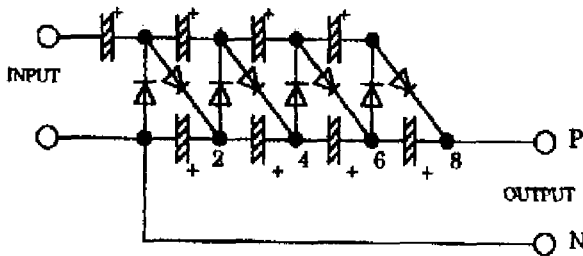


Fig. 2. Cockcroft-Walton Circuit.

しかし、前段では太陽電池の出力を方形波インバータを介して CWC に充電する方式をとっているため、出力電圧 (Fig.2. の P-N 間の電圧) が脈動する。さらにこの脈動は、入力電圧が太陽電池の動作点が電流源、または電圧源のどちらの領域にあるかということと入射光強度の違いでも変動し、充電に要する時定数が異なる。一例を挙げると入射光強度が低く、かつ太陽電池の動作点が電流源の場合は、方形波インバータの半サイクルで CWC に十分な電流が供給されないことで時定数が増加し、これにより太陽電池の変換効率が低下する。

Fig. 3 の (a) は CWC の出力電圧の典型的な充電特性の例であり、インバータの動作サイクルの増加に従い出力電圧が飽和している。同図 (b) は (a) の途中の過程を拡大したものであり、各充

電サイクルの電圧波形は方形波の連続ではなく 1 次遅れの過渡特性の連続になっている。また本例では太陽電池の動作領域が電流源領域から電圧源領域に移行していることもわかる。すなわち太陽電池の最大出力点を境にして振れている。この振れ幅が大きいと太陽電池の変換効率が低下する。従って、変換効率を向上させるためには CWC の前段で太陽電池の出力電圧を安定化させるのが望ましい。

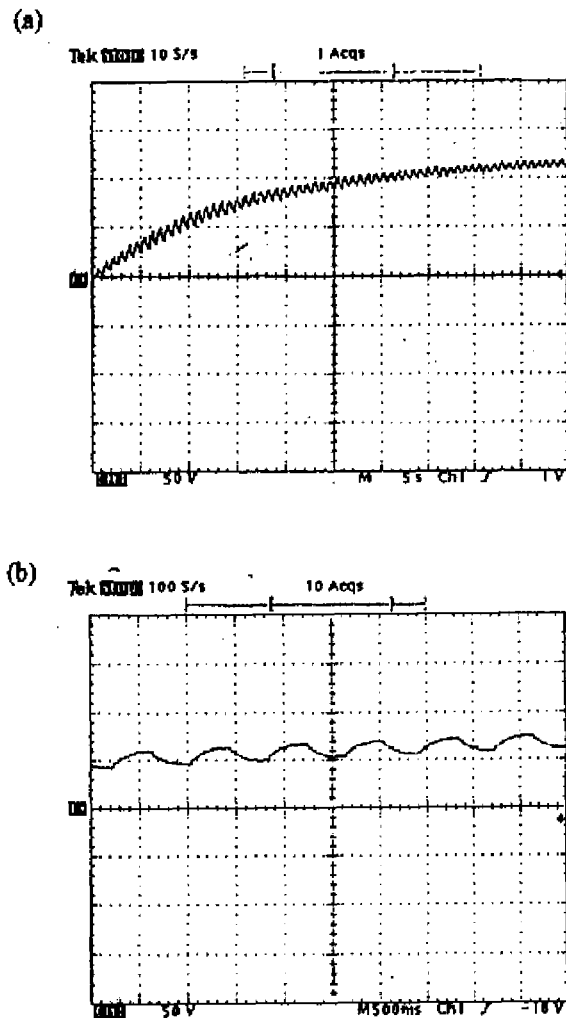


Fig.3. Charging voltage characteristics of CWC.

4.2 入力電圧の安定と変換効率の向上

太陽電池の出力電圧を安定化させるため、新規に電解コンデンサ C と低日射強度時に電解コンデンサから太陽電池に電流が逆流することを防ぐ逆流防止ダイオード D をインバータの前段に

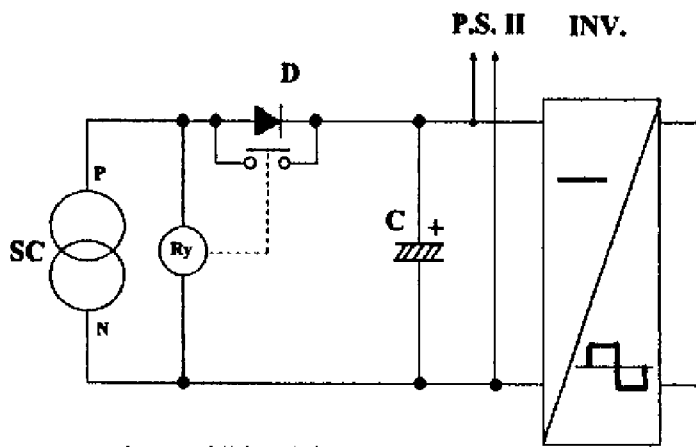


Fig.4. Additional three circuit parts.

設置した (Fig. 4, 97年9月29日)。さらにリレーRyを設置し、太陽電池が発電状態にあるときはDをバイパスすることで導通損を減少させた(97年12月7日)。リレーの投入と遮断のタイミングはリレーのコイルのヒステリシス特性を利用し、太陽電池の出力電圧で自律動作するように動作電圧を選定した。

4.3 変換効率の測定方法

PVACの変換効率(1式)を連続的に計測するため、電子式交流電力量計1台を商用電力入力側に、また、電子式直流電力量計を入力側と出力側の2ヶ所にそれぞれ1台、合計3台を取り付けた。これらの電力量計はパルス発信付であり、パルス入力を割込みとしてパルス時間間隔をシーケンサで計数し、電力を逆算すると同時に変換効率の計算を行なう。それぞれの計器の発信タイミングが異なるため、ある計器の割込みが入ったときは他の2台の電力量計の電力の値は前回のホールド値を採用する。この方式によると3つの電力の計測値が同時計測でないため、効率の計算結果が若干ばらつく。これは本方式の欠点であるが、単位発信パルスあたりの電力量を減らすことで効率の精度を上げることができる。Fig.5. は計測回路のブロック図である。

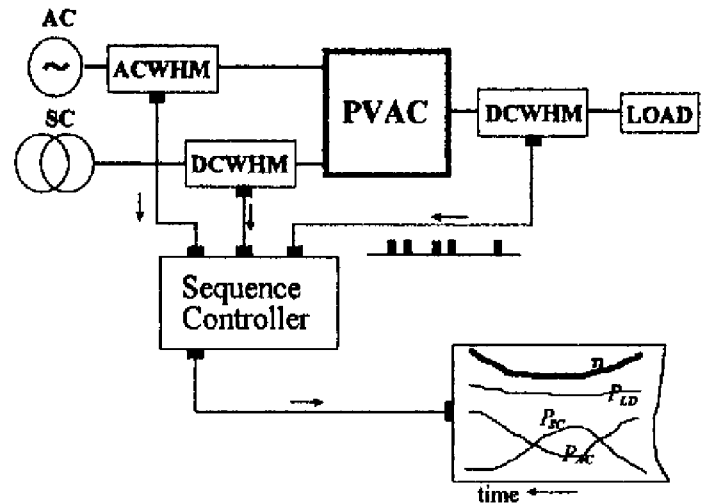


Fig.5. Measurement system block diagram.

5. 計測結果

5.1 実測例

3台の電力量計の計測値と、(1)式で与えられる計算効率の値を打点記録計(打点速度は5秒毎)で記録する。ここでは日射変動に対するPVAC性能を比較するため、快晴の日(98年4月7日: Fig. 6(a))と日射が断続的に変化する日(同8日: 同(b))の、連続した日を例として示す。

電力については P_{LD} をほぼ一定として、 P_{PV} と P_{AC} がこれを分担するという関係にあることがわかる。また早朝、夕方および夜間は P_{PV} が零またはほぼ零になり、このときは P_{AC} が P_{LD} よりも高い。これは商用電力側の動作に移るためであり、整流回路と平滑回路の損失電力がPVACの変換効率を決める。また稼働時間Tは5時から18時までの13時間である。

また8時30分頃の P_{PV} の急な立ち上がりと P_{AC} の立ち下がり、太陽電池表面にかかる建物の影が消えたときの様子である。

変換効率は入射光強度が強くなると逆に低下する。これは低電圧大電流型太陽電池を使うPVACの特徴であり、インバータとかCWCの導通損の増加が主な原因である。

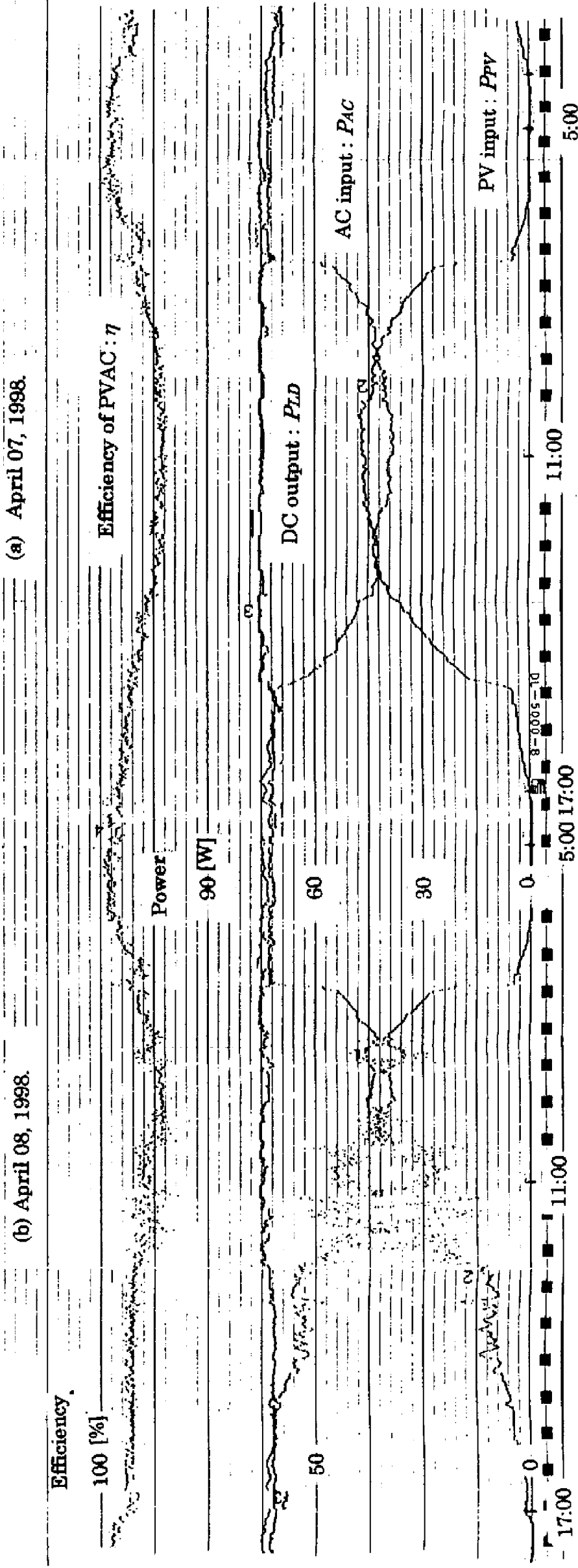


Fig.6. Example charts of P_{PV} , P_{AC} , P_{LD} and η .

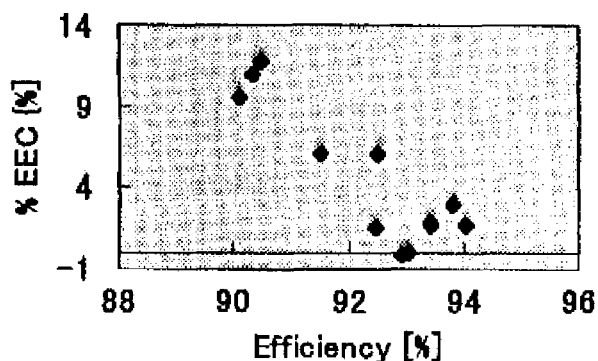


Fig.7 Correlation between monthly %EEC and efficiency.

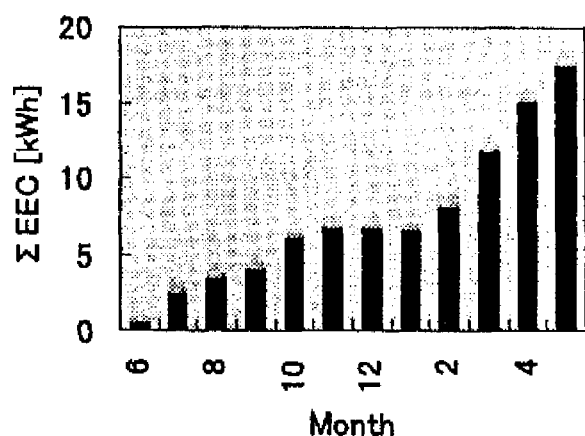


Fig.8. Accumulated electric energy conserving.

5.2 効率と省エネルギー率

Fig.7.に 97 年 6 月から 98 年 5 月までの月間の変換効率と省エネルギー率の関係を示す。本図によると試作 PVAC の η は 90 から 94%、さらに %EEC は 12 ~ -0.2% であることがわかる。また両者には負の相関関係が認められる。ここで %EEC が負値になるのは、1 月であり、太陽電池が冠雪する日が続く場合とか日射量が極端に少ない時期に限られている。

Fig.8 は試作 PVAC を使用して実現した省エネルギー量 EEC の累積値である。98 年 2 月ごろから上昇傾向が著しい。これは回路を改良した結果である。

6. まとめ

本論文では太陽光発電電力/商用電力混合装置の改良ならびに変換効率と省エネルギー特性の評価手法を報告した。

回路の改良では太陽電池側の入力端子電圧の安定回路と、逆流防止ダイオードをバイパスリレーでバイパスする回路の追加を行った。

結果として変換効率と省エネルギー率には負の相関がみられることと、省エネルギー率は八戸では 1 月に負値をとりうることが実測より判明した。一方、省エネルギー量の累積値では、75Wp 級 Si 単結晶太陽電池で 17.2kWh/年を得て、省エネルギーマシンとして機能することを確認した。

参考文献

- [1] Y.Tsuchiya, "A Photovoltaic AC Fusion Converter", *IEEE Power Engineering Society 1998 WM*, PE-783-EC-0-12-1997, 1998, pp.1-6.
- [2] 土屋、榊原: 「太陽光発電電力/商用電力混合装置の方式と性能」, 太陽/風力エネルギー講演論文集 (1997), No. 18, 1997, pp.69-72.